

文章编号:1671-6833(2010)03-0101-05

曲率变化率在公路线形质量设计的应用研究

胡圣能^{1,2}, 许金良¹, 杨宏志¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 华北水利水电学院 土木与交通学院, 河南 郑州 450011)

摘 要: 针对公路路线传统设计方法的不足以及用运行速度评价公路线形质量在主观性、可靠性、指标全面性以及适用性等方面存在的问题, 引入了曲率变化率的概念. 通过研究曲率变化率与交通事故的关系, 提出了曲率变化率的安全评价标准及其在公路线形设计的应用流程. 实例表明: 曲率变化率值越大, 弯道处发生交通事故次数越多, 且在曲率变化率值 $CCR_0 > 180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$ 的弯道时, 交通事故发生具有聚集性.

关键词: 道路工程; 曲率变化率; 公路设计; 平面曲线; 交通安全

中图分类号: U491.2 **文献标识码:** A

0 引言

公路设计就是把影响汽车运行的各种设计要素综合起来考虑, 保证汽车在全线匀速地运行, 从而做出一个标准连续性的设计. 传统的路线设计方法, 满足设计车速所要达到的最低平、纵线形指标, 而对采用较高的线形指标则没有限制, 这样导致了线形指标都满足设计规范要求, 而线形组合起来不一定合理, 在线形设计上产生突变, 造成驾驶员的不适应, 汽车运行与线形指标脱节, 致使该位置所发生的交通事故具有集聚性, 形成事故“黑点”. 而如何评价公路线形设计质量, 目前在我国的标准^[1]和规范^[2]中只是一般的定性描述, 并无明确的定量指标, 执行起来有一定的随意性. 笔者从安全方面对公路的线形设计质量评价做了相应的研究.

1 利用运行速度评价路线线形的局限性

对于公路线形设计安全评价方法, 国内外主要有线形图评价法、透视图和三维动画评价法、运行速度评价法以及驾驶员工作量评价法等等. 尽管这些评价方法采用的手段和角度不同, 但评价的目的是相同的, 都是通过检查评价, 使公路线形各要素的设计达到连续、均衡和协调, 实现汽车在

公路上安全运行的目的.

其中, 利用运行速度进行线形设计检查的方法, 是近年来国内外研究和应用的主要方法, 尽管运行速度预测模型不尽相同, 但都是通过已建公路调查, 经回归分析后, 建立运行速度与线形要素之间的预测模型, 然后利用国际上相对比较成熟的速度差界理论, 动态地控制线形指标的取值, 事实上, 这种评价方法也存在明显的不足^[3]. 首先, 实测样本量有限, 加上道路条件、交通条件及地域等条件上的限制, 模型的普适性存在一定问题; 另外, 由于不易把握线形要素对运行速度的影响权重, 单一自变量影响模型的精确度, 而多个自变量预测误差较大; 加之, 用 v_{85} 移查公路线形, 意味着只满足了 85% 车辆安全行驶的要求, 有 15% 高速行驶车辆的安全性没有考虑, 而这 15% 高速行驶的车辆才是更容易发生安全事故的一类. 因此, 基于实测的运行速度 v_{85} 模型在指导公路线形设计与评价存在明显不足.

2 曲率变化率与交通安全关系

2.1 曲率变化率概念

曲率变化率 CCR (Curvature Changing Rate of curve), 定义为平曲线路段单位长度的角度变化之和, 是通过与曲线长度、半径、转角有关的弯曲

收稿日期: 2009-12-02; 修订日期: 2010-01-13

基金项目: 陕西省交通科技项目 (06-31K)

作者简介: 胡圣能 (1979-), 男, 河南信阳人, 长安大学博士研究生, 主要研究领域为公路景观规划设计及公路交通安全研究, Email: hushengneng@sina.com.

过程来描述曲线的一个设计元素,表征平曲线曲率变化的连续性.用 CCR 核查公路线形可防止路线在视觉效果上产生突变、中断的感觉,使设计成果光滑流畅.研究表明,用于描述道路特性中最具有实际意义的参数就是带有缓和曲线的单圆曲线曲率变化率 CCR_s (Curvature Changing Rate of Single Circular Curve),计算公式^[4-6]如下

$$CCR_s = \frac{200}{\pi} \left(\frac{L_{s1}}{2R} + \frac{L_c}{R} + \frac{L_{s2}}{2R} \right) \cdot L^{-1} \quad (1)$$

式中: CCR_s 为有缓和曲线的单个平曲线的曲率变化率, $\text{gon} \cdot \text{km}^{-1}$; L_{s1} 、 L_{s2} 为前后缓和曲线长度, m ; L_c 为圆曲线长度, m ; L 为曲线总长度, km ; R 为圆曲线半径, m .

从曲率变化率的计算公式(1)中可以看出, CCR_s 的计算涉及到平曲线的半径、缓和曲线长度、曲线长度、转角等要素,是不同要素组合下道路特征的综合表现.

2.2 曲率变化率与交通安全的关系

最新研究表明^[4]:影响汽车运行安全性的一个重要因素就是当前路段的 CCR 值,且车辆在不同路段的事故率和事故严重程度与 CCR_s 息息相关. Trapp 认为,公路条件影响驾驶行为的程度可通过 CCR_s 值来反映. Krebs 研究发现,随着 CCR_s 值的增加,交通事故的发生率也会随着增大,但增大幅度相对较小, CCR_s 值高的路段交通事故率为 CCR_s 值低的路段的 2 ~ 3 倍,但对于特殊高的 CCR_s 路段 ($CCR_s > 500 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$),交通事故率会很高,如图 1 所示.

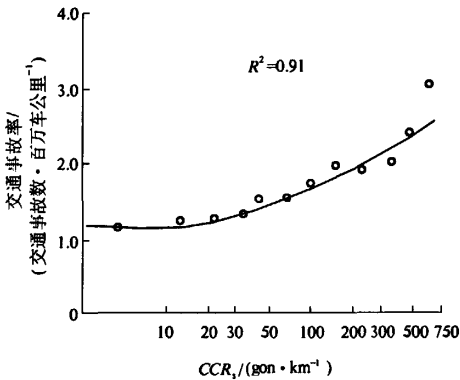


图 1 交通事故率与 CCR_s 关系图

Fig.1 Transportation accident rate and CCR_s relational

交通事故发生的过程是一个能量转化过程,在困难的行车条件下发生的交通事故,汽车的动能被转化为热能及车辆变形的机械能.显然,

CCR_s 越高,事故发生过程中能量转化也就越多,事故后果就越严重^[5].图 2 为 Kloechnner^[6]通过研究总结的交通事故损失率与路段的 CCR_s 的变化图.

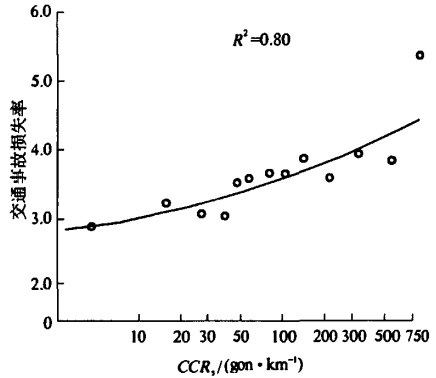


图 2 交通事故损失率与 CCR_s 关系图

Fig.2 Traffic accident loss factor and CCR_s relational

2.3 曲率变化率在改善公路安全性中的应用

2.3.1 控制车辆超速行驶

由于公路设计方法的原因,尽管在满足了标准规定的相关线形指标,但众多指标的叠加,使得同一路段等级下,汽车运行速度差异性很大,在特定的地形条件下极易产生车辆超速行驶.超速是引起交通事故的主要原因,超过设计速度行驶即处于临界失控状态,处于不安全行驶状态.为降低事故率,可通过观测建立百分位车速与 CCR_s 的关系模型,建议根据 CCR_s 确定 85% 位车速和 15% 位车速,将小型车和大型车的 85% 位车速分别作为各自的最高车速限制值,将小型车的 15% 位车速作为所有车型的最低车速限制值^[7],并根据规律给出了合理车速限制建议值.

2.3.2 道路“黑点”路段的核查

目前我国公路“黑点”路段的识别基本上属于事后型,即通过公路运营发现路段交通事故的聚集性,识别到“黑点”路段,然后才去治理,这种治理方式是以生命和财产的损失为代价.曲率变化率的引入及其在公路安全评价中的应用,可以事前核查公路线形设计的优劣,进而判别出不良路段并及时加以整治,有效预防交通事故的发生.

2.3.3 作为线形设计检查与修改的依据

通过建立曲率变化率的安全评价标准,可以直观、清楚、定量地发现公路线形存在的问题、原因及位置,作为进一步修改的依据.通过修改线形

要素技术指标,消除原线形设计的缺陷,经修改后因修改范围所限仍然不能令人满意,或因地形所限无法通过修改线形设计消除缺陷,此时就必须重视交通安全设施设计,如限速标志设置、双向隔离设施设置、警告标志设置等。

3 基于曲率变化率的安全评价标准

3.1 设计均衡性的安全评价标准

由于平曲线路段要素设计较为复杂,线形设计上的任何突变,都将使得该位置所发生的交通事故频发,因此,该安全标准主要针对平曲线路段。对于某一弯道,设计曲线的 CCR_i 与该路段中曲线平均变率(CCR_a)应保持平衡,才能保证设计一致性。对于设计均衡性较差的路段,必须调整设

计参数,以保证安全性^[8]。安全标准 1 检查的内容和标准见表 1。

3.2 设计连续性的安全评价标准

设计连续性检查的对象是相邻线形要素下线形是否连续,以防止线形产生较大的波动,影响汽车运行的安全性,安全标准检查的内容和标准见表 2。

3.3 行驶稳定性的安全标准

随着曲线上车速的大幅度变化,无论曲线是否设有超高,通常有轮胎侧向推力,随着车辆速度和车辆密度的增加,由于制动阻力的减少而造成的交通事故情况也会越来越明显。因此,为了控制横向力系数,保证汽车的行驶稳定性,得到基于行驶稳定性的安全标准,检查的内容和标准见表 3。

表 1 设计均衡性的安全标准
Tab. 1 Design equalization appraisal safety standard

成果评价	评价指标	评价结论
优秀	$ CCR_i - \overline{CCR}_a \leq 180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	无需修改设计参数,可以保证设计一致性和安全性。
一般	$180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1} < CCR_i - \overline{CCR}_a < 360 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	无需重新设计,可通过修改相关设计参数调整路段的一致性。无法修改时,应采用交通安全设施。
较差	$ CCR_i - \overline{CCR}_a \geq 360 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	①不能满足设计一致性,是交通事故频发路段; ②宜重新设计,若由于地形等不能修改设计参数时,必须采用交通安全设施以控制车速。

表 2 运行速度连续性的安全标准
Tab. 2 Running rate uniform safety standard

成果评价	评价指标	评价结论
优秀	$ CCR_u - CCR_{u+1} \leq 180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	线形连续可以保证运行速度连续性和运行安全。
一般	$180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1} < CCR_u - CCR_{u+1} < 360 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	无需重新设计,可通过修改相关设计参数调整路段的一致性。无法修改时,应采用交通安全设施。
较差	$ CCR_u - CCR_{u+1} > 360 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	①不能满足设计一致性,是交通事故频发路段; ②宜重新设计,若由于地形等不能修改设计参数时,必须采用交通安全设施以控制车速。

表 3 行驶稳定性的安全标准
Tab. 3 Travel stable safety standard

成果评价	评价指标	评价结论
优秀	$CCR_u \leq 180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	弯道处最大有效横向力系数数值可以保证汽车安全舒适的通过。
一般	$180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1} < CCR_u < 360 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	车乘人员能感觉到弯道的存在,但无需重新设计,可通过修改相关设计参数调整路段。
较差	$CCR_u > 360 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$	①车辆经过弯道受到的离心作用越明显,车辆通过越不安全,容易出现翻车、冲出公路等事故; ②宜重新设计,若由于地形等不能修改设计参数时,必须采用交通安全设施以控制车速。

注: CCR_m 平曲线路段的曲率变化率; \overline{CCR}_m 平曲线路段的曲线的平均变化率,计算公式如下

$$\overline{CCR}_m = \sum_{i=1}^{i=m} (CCR_i L_i) \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=m} L_i \right)^{-1} \quad (2)$$

式中: CCR_i 为平曲线曲率变率, $\text{gon} \cdot \text{km}^{-1}$; L_i 为 i 段平曲线的长度, m ; i 为平曲线段内曲线个数, $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$.

4 应用曲率变化率的线形设计方法

4.1 利用曲率变化率设计的基本方法

曲率变化率的线形设计方法是在现行设计方法的基础上,增加了应用其检查和修改初定平、纵、横及相关几何要素技术指标的环节.根据选定的设计速度和地形条件,按公路技术标准要求初定路线平、纵、横技术指标,应用曲率变化率的安全评价标准进行线形设计检查,通过改变技术指标,使公路线形变化连续、均衡、协调,并作为确定其他技术指标和设计的依据^[8].

4.2 设计步骤

应用曲率变化率的公路线形设计法步骤如图3所示.图中虚线框内为新增步骤,经过用规范检查修改和用曲率变化率安全评价标准检查修改后,如果仍然不满意可反复检查修改,直至满意为止,最后确定各技术指标.

5 评价实例

收集了312国道信阳段的事故资料和线形资料进行分析.调查路段为汽车专用二级公路,丘陵地带,地形起伏一般.事故资料由信阳市交警支队提供,统计自2000年1月—2002年12月,历时3年.设计图纸由河南省交通规划设计院提供.共收集到9个圆曲线路段的资料,部分线形和事故的资料内容见表4.

对表4进行分析可以看出:①在公路穿越城镇时,同等道路条件下交通事故发生次数明显增加(如统计的第六弯道处).总体上,交通事故数

随 CCR_m 数值的增加而增加,当 $CCR_m > 180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$ 的弯道处交通事故发生次数明显增加;②平曲线半径数值的大小对交通事故影响并无显著影响,平曲线线形指标的协调性才是决定交通事故发生次数的决定因素,从公式(1)中可以看出, CCR_m 正是衡量平曲线线形指标协调性的指标;③ CCR_m 越大,交通事故发生地点聚集性就越显著.在交通事故多发处,通过计算弯道的 CCR_m 值,对比曲率变化率的安全评价标准来确定该路段是否为交通“黑点”.在道路“黑点”处,通过调整弯道半径、转角、曲线长度等线形指标,使得道路线形均衡连续, CCR_m 值符合标准要求;④在 CCR_m 值较大的弯道处,由于地形的限制,无法改变公路线形指标时,可以通过限速、增加交通设施等方法,提高弯道的安全性.

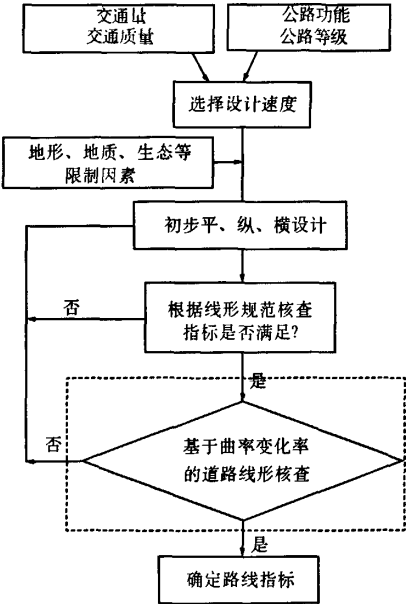


图3 曲率变化率公路线形设计法的流程图
Fig.3 Curvature changing rate of curve highway in alignment design method flow

表4 G312 信阳段部分事故资料和线形资料统计表

Tab.4 G312 Xinyang section part accident material and linear material statistical table

弯道 序号	ADT/ (辆·日 ⁻¹)	车道 宽度/m	路肩 宽度/m	圆曲线 半径/m	平曲线 长度/m	缓和曲线 长度/m	平曲线转角 /(°)	CCR_m / ($\text{gon} \cdot \text{km}^{-1}$)	事故数
1	8 875	9	1.9	310	279.72	120	29.55	161.31	9
2	8 875	9	2.0	800	468.64	120	26.01	69.39	8
3	8 875	9	2.0	180	335.65	250	55.95	249.39	26
4	8 875	9	2.1	1 800	271.51	80	8.99	30.16	7
5	8 875	9	2.0	800	466.74	140	23.91	67.64	9

续表 4

弯道 序号	ADT/ (辆·日 ⁻¹)	车道 宽度/m	路肩 宽度/m	圆曲线 半径/m	平曲线 长度/m	缓和曲线 长度/m	平曲线转角 /(°)	CCR/ (gon·km ⁻¹)	事故数
6	8 875	9	2.9	2 500	871.31	0	77.30	25.47	15
7	7 277	9	2.0	1 100	563.63	180	19.97	48.63	5
8	7 277	9	1.9	200	418.65	200	6.27	24.23	2
9	7 277	9	2.2	280	405.93	160	33.72	182.56	16

6 结论

(1)曲率变化率与交通安全的关系:随着 CCR_s 值的增加,交通事故的发生率也会随着增大,事故发生过程中能量转化也就越多,事故后果就越严重。

(2)通过对曲率变化率的计算,运用曲率变化率的3个安全评价标准,对公路线形安全性进行检查和评价,方法简单、方便、易行。

(3)提出在公路线形设计中应用曲率变化率安全评价标准的基本思路和设计流程。将曲率变化率引入到公路设计过程中,能实时、动态地调整路线设计指标,以便满足安全标准要求,对交通事故起到了事前防范效果,意义十分重大。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. GB 01—2003 公路工程技术标准[S]. 北京:人民交通出版社,2003.

[2] 中华人民共和国交通部. JTG D20—2006 公路路线设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2006.

[3] 符铎砂. 理论运行速度与公路线形设计[D]. 西安:长安大学公路学院,2009.

[4] GLEN F, KOOREY. Incorporating safety into rural highway design[D]. New Zealand: University of Canterbury,2009.

[5] 高建平. 基于运行车速的公路线形设计质量评价[J]. 同济大学学报,2004,32(7):906-911.

[6] Federal Highway Administration. Speed prediction for two-lane rural highways[R]. Washington: Federal Highway Administration,2000.

[7] 裴玉龙. 高速公路车速离散性与交通事故的关系及车速管理研究[J]. 中国公路学报,2004,17(1):74-78.

[8] 胡圣能. 双车道二级公路平曲线要素与交通安全关系研究[D]. 西安:长安大学公路学院,2006.

[9] 杨少伟. 可能速度及其在公路线形设计中的应用方法[J]. 长安大学学报,2004,5(3):1-4.

Evaluation of Highway Alignment Design Safety Based on Curvature Changing Rate of Curve

HU Sheng-neng^{1,2}, XU Jin-liang¹, YANG Hong-zhi¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering and Transportation, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: To solve the problem of the insufficiency in tradition design of alignment of highway as well as the ones in the aspects of subjectivity, reliability, target integrity and serviceability of quality assessment of highway's alignment, the concept of curvature changing rate of curve is put forward for the first time. Through researching the relation between curvature changing rate of curve and traffic accident, safety evaluation of curvature changing rate of curve and application in design for highway alignment are put forward. The example indicated: curvature changing rate of curve is a key indicator to weigh the curve place traffic; the curvature rate of change value is bigger, curve place has the traffic accident number of times to be more, and when $CCR_s > 180 \text{ gon} \cdot \text{km}^{-1}$, occurrence of the traffic accident has the accumulation; curvature changing rate of curve in the highway alignment design to improving the highway alignment quality, increases the road security which have the significant practical significance.

Key words: road engineering; curvature changing rate of curve; highway design; horizontal curve; traffic safely